

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of :
Shigeki OGURA :
Serial No. NEW : Attn: Application Branch
Filed January 4, 2002 : Attorney Docket No. 2001-1805A

J1046 U.S. PTO
10/035163
01/04/02

FIBER BRAGG GRATING STRAIN SENSOR
WITH ARC CONFIGURATION

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Assistant Commissioner for Patents,
Washington, DC 20231

Sir:

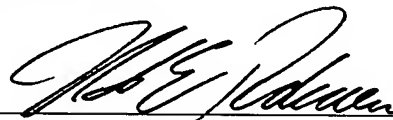
Applicant in the above-entitled application hereby claims the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 050134/01, filed February 26, 2001, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Shigeki OGURA

By



Nils E. Pedersen
Registration No. 33,145
Attorney for Applicant

NEP/krl
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
January 4, 2002

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT
ACCOUNT NO. 23-0975

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1046 U.S. PTO
10/035163
01/04/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-050134

出 願 人

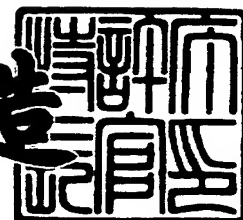
Applicant(s):

沖電気工業株式会社

2001年10月19日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3092435

【書類名】 特許願
【整理番号】 OH003630
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01L 1/24
G02B 5/15

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会
社内

【氏名】 小椋 茂樹

【特許出願人】

【識別番号】 000000295

【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100085419

【弁理士】

【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012715

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001068

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 F B G 歪みセンサー

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 F B G（光ファイバブラッグ回折格子）を用いて、歪みを測定する F B G 歪みセンサーにおいて、

歪み測定領域を有する歪み測定部材と、前記歪み測定領域上に固定された光ファイバーと、前記光ファイバーの中心軸に沿った一区内に形成された格子間隔の均一な F B G とを具え、

前記 F B G は前記歪み測定領域内に、前記区間の一端及び他端における前記中心軸の方向が互いに直交する方向を向くように配置されており、前記区内は、 $1/4$ の円弧状に配置して固定されていることを特徴とする F B G 歪みセンサー。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の F B G 歪みセンサーにおいて、前記歪み測定部材は、厚さが一定の板状体であり、

該板状体は、前記歪み測定領域を構成する一定幅の中央部と、該中央部の両端にそれぞれ連続して設けられていて、前記中央部より幅広の 2 つの外力作用部と

を有していることを特徴とする F B G 歪みセンサー。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の F B G 歪みセンサーにおいて、前記板状体は、前記中央部及び前記 2 つの外力作用部によって、H 字状の形態として形成されていることを特徴とする F B G 歪みセンサー。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の F B G 歪みセンサーにおいて、前記歪み測定部材は、厚さが一定の板状体であり、

該板状体は、

前記歪み測定領域を構成する中央部であって、該中央部の一端から対向する他端に向かって、幅が連続的に変化している当該中央部と、

該中央部の前記一端に連続して設けられていて、該一端における前記中央部の幅以上の幅を有する第 1 外力作用部と、

前記中央部の前記他端に連続して設けられていて、該他端における前記中央部

の幅以上の幅を有する第2外力作用部と

を有していることを特徴とするFBG歪みセンサー。

【請求項5】 請求項4に記載のFBG歪みセンサーにおいて、前記中央部の幅の連続的变化を、減少変化とすることを特徴とするFBG歪みセンサー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

この発明は、FBG（光ファイバブラッグ回折格子）を用いて、引張力、圧縮力を測定する歪みセンサーに関するものである。

【0002】

【従来技術】

FBGは、ファイバーコアの紫外光の周期的な屈折率変化を有し、光ファイバーの光軸であって光ファイバを貫く中心軸の方向に、屈折率の高い領域 N_H と低い領域 N_L が交互に形成された構造であるブラッグの回折格子を形成する。

【0003】

その結果、FBGでは光ファイバー中を伝播してきた光のうち、ブラッグ波長を中心にしたある波長範囲の光が反射される。ブラッグ波長 λ_B は、コアの実効屈折率 n_e と、格子間隔 d で次のように表される。

【0004】

$$\lambda_B = 2 n_e d \cdots (1)$$

FBGの光の透過特性は、グレーティング層数、屈折率変調量に依存する。FBGの最大反射率は、FBGの形成領域内の最大屈折率と最小屈折率の差 Δn が大きいほど高くなる。また、FBGの最大反射率は、同一格子間隔をもつ格子の数が多いほど高くなる。

【0005】

FBGの反射帯域は、FBG形成領域の長さが一定である場合は、格子間隔 d の光ファイバー中心軸方向の変化率が大きいほど広くなる。

【0006】

(1) 式において、FBGに温度変化や歪み変化が加えられると、屈折率 n_e

及び格子間隔 d が変化し、ブラッグ波長が変化する。このブラッグ波長を検知することで、FBGを歪みセンサーや温度センサーに使用できる。

【0007】

歪みセンサーは、ビルや橋、トンネル等の土木、建築物に張り巡らせて、各ポイントでの歪みの時間変化を把握する技術（スマートストラクチャー）として有用である。しかし、ブラッグ波長は歪みと温度の両方に対して変動するので、FBGを歪みセンサーとして使う場合には、温度補償が必要である。

【0008】

そこで、温度変化とは無関係に歪みを測定するために、チャープグレーティングと呼ばれる構造のFBGを用いた、温度で変化しない反射帯域を検知する方法が検討されている。ここで、チャープグレーティングとは、格子間隔 d を光ファイバーの中心軸方向に連続的、段階的に変化させたものをいい、格子間隔 d が光ファイバー中心軸方向で一定のものは、ユニフォームグレーティングという。

【0009】

このチャープグレーティング構造のFBGを用いた温度補償方法については、特開2000-97786号公報（文献1）に記載されている。ここでは、その一例として、均一な格子間隔のFBGをテーパ形状に取り付けた歪みセンサーを紹介する。

【0010】

この歪みセンサーの構成を図4に示す。図4（A）は、この歪みセンサーを上から見た平面図を示し、図4（B）は幅方向に向かって見た側面図を示している。

【0011】

文献1によればこの歪みセンサーは、板状引張部材44の長さ方向の中間部に、幅が徐々に狭くなる部分（テーパ部分）44aを有している。光ファイバー10のFBG12の部分は、板状引張部材44のテーパ部分44aに、その光ファイバー中心軸 α の方向を板状引張部材44の長さ方向に向けて、接着などの手段により固定されている。

【0012】

以上のような構成なので、板状引張部材44に引張力を加えた場合、テーパ部分44aは、幅が狭い方ほど伸び歪みが大きくなるため、FBG12も幅が狭い部分に近いほど、伸び歪みが大きくなる。その結果、FBG12の格子間隔は、幅の狭い方ほど大きくなり、ユニフォームグレーティングの状態からチャープグレーティングの状態に変化する。

【0013】

図6はこのグレーティングの状態変化に伴い、FBGの反射フィルタとしての反射帯域を、波長を横軸にとり、相対的な反射光のパワーを縦軸にとって示す反射スペクトル図である。引張力印加前の反射スペクトルは62、引張力印加後の反射スペクトルは66のようになる。

【0014】

そしてこの図に示すように、引張力を加える前の反射帯域64より加えた後の反射帯域68の方が広くなる。よって、反射光のパワーが一定値以上を示す λ_{\min} から λ_{\max} までの波長範囲、即ち帯域幅を測定することにより、引張力の大きさを測定することができる。帯域幅の変化は温度変化とは無関係であるので、この歪みセンサーは、温度変化の影響をうけることなく引張力を測定することができる。

【0015】

板状引張部材44のテーパ部分44aにおいて、最小断面積部分の歪み量 ε_{\max} （最大歪み量）と、最大断面積の部分の歪み量 ε_{\min} （最小歪み量）は、引張力F、最小断面積 A_S 、最大断面積 A_L 、ヤング率Eで（2）式、（3）式のように表される。

【0016】

$$\varepsilon_{\max} = F / (E \cdot A_S) \cdots (2)$$

$$\varepsilon_{\min} = F / (E \cdot A_L) \cdots (3)$$

図5（A）は、引張力Fを横軸にとり、それに対して歪み量 ε を縦軸にとって示した引張力-歪み量特性図である。52、54はそれぞれ、Fの増大に伴う ε_{\max} 、 ε_{\min} の変化を表すグラフである。この図によれば、引張力Fが F_1 から F_2 まで増加すると、最大歪み量 ε_{\max} 、最小歪み量 ε_{\min} もこれに比例して増加する

ことが分かる。

【0017】

また、(2)、(3)式より、最小歪み量 ε_{\min} を表すグラフ54に対し、最大歪み量 ε_{\max} を表すグラフ52の傾きのほうが大きくなる。

【0018】

ところで、板状引張部材44のテーパ部分44aにおいて、最小断面積の部分の格子間隔 d_{\max} （最大格子間隔）と、最大断面積の部分の格子間隔 d_{\min} （最小格子間隔）は、これらの歪み量と、歪みのない場合の格子間隔 d_0 で、以下(4)式、(5)式で表される。

【0019】

$$d_{\max} = (1 + \varepsilon_{\max}) d_0 \dots (4)$$

$$d_{\min} = (1 + \varepsilon_{\min}) d_0 \dots (5)$$

これらより、最小格子間隔 d_{\min} 、最大格子間隔 d_{\max} は、図5(B)のようになる。図5(B)は、引張力Fを加えたときの引張部材内長さ方向の座標を横軸にとり、これに対する格子間隔 d を縦軸にとって示した特性図である。一点鎖線で表される58は引張力印加前のグラフを、56は引張力印加後のグラフを表す。

【0020】

図5(B)において、このグラフの始点から終点に相当する横軸の座標 x_1 、 x_2 は、図4において、光ファイバー10上の一区間に形成されたFBG12の開始端から終端における位置に相当する。そして、上記始点の横軸の座標 x_1 は、テーパ部分44aの最大断面積となるところに位置するFBG12の開始端を表し、上記終点の座標 x_2 は、テーパ部分44aの最小断面積に位置するFBG12の終端を表す。すなわち、図5(B)のグラフでは、始点の横軸の座標 x_1 に対する、縦軸の座標は最小格子間隔 d_{\min} を表し、グラフの終点の横軸の座標 x_2 に対する、縦軸の座標は最大格子間隔 d_{\max} を表す。

【0021】

光ファイバー10上の一区間に、図4のように形成されたFBG12に、引張力Fが加わると、テーパ部分44aの断面積の大きい方から小さい方にむかっ

て、すなわちFBG12の開始端から終端にかけて、伸び歪みは連続的に変化する。よって、その格子間隔も図5(B)に示すように、連続的に変化するようなグラフが得られる。

【0022】

また、図5(A)より、引張力Fが F_1 から F_2 に増加すると、これに比例して、引張部材のテーパ部分44aにおける最大歪み量 ε_{\max} と最小歪み量 ε_{\min} は各々増大する。これに伴って、図5(B)又は(4)、(5)式における最大格子間隔 d_{\max} 、最小格子間隔 d_{\min} も増大する。このため、図5(B)のようにグラフは上方にシフトする。

【0023】

なお、チャープグレーティングの状態になったFBGとしての、長さ方向の格子間隔の変化率は、最大格子間隔 d_{\max} と最小格子間隔 d_{\min} の差で決まる。

【0024】

ところで、反射帯域幅の変化分 $\Delta\lambda$ は、最大歪み部分からのブラッグ波長を λ_{\max} 、最小歪み部分からのブラッグ波長 λ_{\min} として考えると理解しやすい。ブラッグ波長の式より、各々のブラッグ波長は、(6)式、(7)式で表される。

【0025】

$$\lambda_{\max} = 2 n_e \cdot (1 + \varepsilon_{\max}) d_0 \cdots \cdots (6)$$

$$\lambda_{\min} = 2 n_e \cdot (1 + \varepsilon_{\min}) d_0 \cdots \cdots (7)$$

図5(A)の52は54と比較して傾きが大きい。よって、(6)、(7)式において、最小格子間隔 d_{\min} の変化に伴う、最小歪み部分からのブラッグ波長 λ_{\min} の変化よりも、最大格子間隔 d_{\max} の変化による、最大歪み部分からのブラッグ波長 λ_{\max} の変化の方が与える影響が大きい。このため引張力Fの増大に伴って、 λ_{\max} と λ_{\min} の差、すなわち反射帯域幅の変化分 $\Delta\lambda$ も増大する。

【0026】

以上の結果より、引張力Fを横軸に取り、反射帯域幅の変化分 $\Delta\lambda$ を縦軸にとって表すと、図5(C)に示されるように、引張力Fが F_1 から F_2 に増加すると、それに比例して $\Delta\lambda$ も増大し、この増加分が検知される。

【0027】

引張力 F の変化に対する、反射帯域幅の変化分 $\Delta \lambda$ の大きさが、引張力に対する感度となる。すなわちこの歪みセンサーの感度、 $\Delta \lambda / \Delta F$ は、図 5 (C) の傾きで表される。

【0028】

ここで、この感度は、テーパー部分の最大断面積 A_L と最小断面積 A_S の比に左右される。よって従来の歪みセンサーの感度は、テーパー部分の形状によって決まることが分かる。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】

このように、従来の歪みセンサーにおいては、引張部材に断面積が徐々に変化するテーパー部分が必要で、引張部材のテーパー部分の形状、という幾何学的な要因によって感度が決められていた。

【0030】

よって、従来の歪みセンサーにおいては、幾何学的改良は困難であったため、さらなる感度の向上は望めなかった。また、このように歪みセンサーの感度が幾何学的な要因に束縛されることは、技術としてあまり魅力のあるものではなかった。

【0031】

この発明は、以上のような従来技術の問題点に着目し、歪みセンサーの更なる感度向上を目指したものである。

【0032】

【課題を解決するための手段】

この目的の達成を図るため、この発明の F B G 歪みセンサーによれば、歪み測定領域を有する歪み測定部材と、歪み測定領域上に固定された光ファイバーと、光ファイバーの中心軸に沿った一区間内に形成された格子間隔の均一な F B G とを具えている。そして、この F B G は、その形成区間の一端及び他端、すなわち F B G の開始端及び終端における中心軸方向が互いに直交する方向を向くように、歪み測定領域内に配置されており、この区間内は、 $1/4$ の円弧状に配置して固定されていることを特徴とする。

【0033】

また、この出願の第1の発明によれば、歪み測定部材は、厚さが一定の板状体であり、この板状体は、歪み測定領域を構成する一定幅の中央部と、この中央部の両端にそれぞれ連続して設けられていて、この中央部より幅広の2つの外力作用部とを有していることを特徴とする。

【0034】

この第1発明において、板状体は、中央部及び2つの外力作用部によって、H字状の形態として形成することがのぞましい。

【0035】

次にこの出願の第2発明によれば、板状体は、歪み測定領域を構成する中央部を有している。そしてこの中央部の一端から対向する他端に向かい、その幅は連続的に変化している。さらにこの板状体は、その中央部の一端に連続して設けられていて、一端におけるこの中央部の幅以上の幅を有する第1外力作用部と、この中央部の他端に連続して設けられていて、この他端における中央部の幅以上の幅を有する第2外力作用部とを有していることを特徴とする。

【0036】

この第2発明においては、この中央部の幅の連続的変化は、減少変化とすることが好適である。

【0037】

この第1発明及び第2発明の構成によれば、歪み測定部材に引張力を加えた場合、歪み測定領域では、光ファイバーの中心軸方向が歪み測定領域の長さ方向に向いている方ほど伸び歪みが大きい。よって、光ファイバーの中心軸の方向が歪み測定領域の長さ方向に向いている方が、FBGの伸び歪み量が大きい。

【0038】

一方、光ファイバーの中心軸の方向が歪み測定領域の幅方向に向いている方ほど、光ファイバーは縮み歪みが大きい。よって、光ファイバの中心軸の方向が幅方向に向いている方ほど、FBGの縮み歪み量は大きい。

【0039】

この結果、FBGの格子間隔は、光ファイバーの中心軸の方向が、歪み測定領

域の長さ方向に向いている方ほど大きくなる。これに対して、光ファイバーの中心軸の方向が幅方向に向いている方ほど、FBGの格子間隔は小さくなる。このため、FBGはユニフォームグレーティングの状態から、チャープグレーティングの状態に変化する。

【0040】

これに伴い、FBGの反射フィルタとしての反射帯域も引張力を加える前よりも、加えた後の方が広くなる。よって、反射光のパワーが一定値以上を示す波長範囲、すなわち帯域幅を測定することにより、引張力の大きさを測定することができる。帯域幅の変化は、温度変化とは無関係であるので、この歪みセンサーは、温度変化の影響をうけることなく引張力を測定することができる。

【0041】

また幅方向に縮み歪みが加わることにより、この発明の歪みセンサーの感度は、歪み測定部材の材料力学的な値であるポアソン比によって左右されるようになる。

【0042】

すなわち、従来の歪みセンサーは、テーパー部の形状という幾何学的な要因で決まる面積比に感度が制約されていたので、さらなる感度の向上が困難であったが、この発明は、ポアソン比によって感度が決まるため、従来の歪みセンサーでは不可能であった、さらなる感度の向上を実現することができる。

【0043】

更に第2発明のFBG歪みセンサーにおいて、歪み測定部材は、幅が一端から対向する他端に向かって連続的に変化している歪み測定領域を構成する中央部を有する。このため、第1発明における光ファイバーの向きによる歪み量に対する伸縮の効果に加えて、この中央部による歪み量不均一の効果加わる。この結果第2発明によれば、第1発明よりも更に大きな感度を得ることができる。

【0044】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、この発明のFBG歪みセンサーの各実施の形態について説明する。しかしながら、以下の説明に用いる各図はこの発明を理解できる程度

に各構成成分の寸法、形状及び配置関係を概略的に示してある。また、説明に用いる各図において、同様な構成成分については同一の符号を付して示してあり重複する説明は省略している。

【0045】

1. 第1の実施の形態

図1は、この発明の第1の実施の形態のFBG歪みセンサーの構造を説明するための図である。図1(A)はこの発明を上面から見た平面図であり、図1(B)はこの発明を幅方向に向かって見た側面図である(以下の各実施の形態の構造説明図において同様である。)

【0046】

この第1の実施の形態のFBG歪みセンサーは、歪み測定領域14aを有する歪み測定部材14と、歪み測定領域14a上に、接着などの手段により固定された光ファイバー10と、光ファイバー10の中心軸 α の方向の一区間内に形成された格子間隔の均一なFBG12とを具えている。そして、このFBG12は、その形成区間の一端及び他端、すなわちFBG12の開始端及び終端における中心軸 α の方向が互いに直交する方向を向くように歪み測定領域14a内に配置されており、この区間内は、 $1/4$ の円弧状に配置して、接着などの手段により固定されている。この区間に該当しない光ファイバー10の他の部分は、任意好適な手段により固定する。

【0047】

更にこの歪み測定部材14は、図1(B)に示すように、一定の厚さ z を有する板状体である。この板状体は、図1(A)に示すように、歪み測定領域14aを構成する一定幅 W_0 の中央部を有している。この中央部の両端には、それぞれ連続して2つの外力作用部16が設けられている。図1(A)に示した、この2つの外力作用部16の幅 W_3 、 W_4 は、この中央部よりも幅広である($W_0 < W_3$ 、 W_4)。

【0048】

なお、この第1の実施の形態において板状体は、中央部14a及び2つの外力作用部16によって、H字状の形態として形成することがのぞましい。

【0049】

この第1の実施の形態の構成によれば、歪み測定部材14に、歪み測定領域14aの長さ方向（すなわち図1のX方向）に引張力Fを加えた場合、歪み測定領域14aでは、光ファイバー10の中心軸 α の方向が、X方向に向いている方ほど伸び歪みが大きい。よって、そちらに向かうにつれて、FBG12の伸び歪み量が大きくなる。

【0050】

一方、光ファイバー10の中心軸 α の方向が、歪み測定領域14aの幅方向（すなわち図1のY方向）に向いている方が、縮み歪みが大きい。よって、Y方向に向いている方ほど、FBG12の縮み歪み量は大きい。

【0051】

この結果、FBG12の格子間隔は、光ファイバー10の中心軸 α の方向がX方向に向いている方が大きくなる。これに対して、光ファイバー10の中心軸 α の方向がY方向に向いている方ほど、FBG12の格子間隔は小さくなる。このため、FBG12はユニフォームグレーティングの状態から、チャープグレーティングの状態に変化する。

【0052】

この際のFBG12の反射スペクトルは、従来既知の方法によって測定する。図3は、このグレーティングの状態変化に伴い、FBG12の反射フィルタとしての反射帯域を、横軸に波長をとり、反射光のパワーを縦軸にとって示す反射スペクトルの図である。引張力印加前の反射スペクトルは32、引張力印加後の反射スペクトルは36のようになる。34は引張力印加前の帯域幅を示し、38は引張力印加後の帯域幅を示す。

【0053】

この図3より、引張力を加えたとき、FBG12がチャープグレーティングの状態になるのに伴って、帯域幅は34から38へ変化することから、FBG12の反射フィルタとしての反射帯域は、広くなることが分かる。よって、反射光のパワーが一定値以上を示す λ_{\min} から λ_{\max} までの波長範囲、すなわち帯域幅を測定することにより、引張力Fの大きさを測定することができる。帯域幅の変化は

、温度変化とは無関係であるので、この歪みセンサーは、温度変化の影響をうけることなく引張力を測定することができる。

【0054】

ところで、歪み測定領域 14 a において、その長さ方向（すなわち X 方向）の歪み量 ε_n は、引張力 F、断面積 A、ヤング率 E、で（8）式のように表される。

【0055】

$$\varepsilon_n = F / (E \cdot A) \cdots (8)$$

歪み測定領域 14 a において、その幅方向（すなわち Y 方向）の歪み量 ε_s は、ポアソン比 ν で（9）式のように表される。

【0056】

$$\varepsilon_s = -\varepsilon_n \cdot \nu \cdots (9)$$

ここで図 2（A）は、引張力 F を横軸にとり、それに対し縦軸に歪み量 ε をとって示した引張力-歪み量特性図である。このグラフの縦軸は、歪み量 ε が 0 より大となるにつれて、伸び歪みが大きくなり、歪み量 ε が 0 より小となるにつれて、縮み歪みが大きくなることを示す。すなわち（9）式は、Y 方向の縮みを表す。

【0057】

Y 方向の歪み量 ε_s を表すグラフ 22 より、 ε_s は引張力 F に比例して縮みが大きくなり、一方 X 方向の歪み量 ε_n を表すグラフ 24 より、 ε_n は引張力 F に比例して伸びが大きくなることが分かる。

【0058】

歪み測定領域 14 a において、最大伸び歪みをした部分の格子間隔 d_{\max} （最大格子間隔）と、最大縮み歪みをした部分の格子間隔 d_{\min} （最小格子間隔）は、これらの歪み量と、歪みのない場合の格子間隔 d_0 で、以下の（10）式、（11）式で表される。

【0059】

$$d_{\max} = (1 + \varepsilon_n) d_0 \cdots (10)$$

$$d_{\min} = (1 - \varepsilon_n \cdot \nu) d_0 \cdots (11)$$

これらより、 d_{\max} と d_{\min} は、図2（B）のようになる。図2（B）は、引張力 F を加えたときの歪み測定領域14a内長さ方向の座標を横軸にとり、これに対する格子間隔 d を縦軸にとって示した特性図である。図2（B）における一点鎖線で表されるグラフ28は、引張力印加前のグラフを表し、26のグラフは、引張力印加後のグラフを表している。

【0060】

図2（B）において、このグラフの始点から終点に相当する横軸の座標 x_1 、 x_2 は、図1において、光ファイバー10上の一区間に形成されたFBG12の開始端から終端における位置に相当する。そして、上記始点の横軸の座標 x_1 は、歪み測定領域を構成する中央部の一端において、光ファイバー10の中心軸 α の方向を、中央部のY方向に向けて位置するFBG12の開始端を表し、上記終点の座標 x_2 は、歪み測定領域14aを構成する中央部の他端において、光ファイバー10の中心軸 α の方向を、中央部のX方向に向けて位置するFBG12の終端を表す。すなわち、図2（B）のグラフでは、始点の横軸の座標 x_1 に対する、縦軸の座標は最小格子間隔 d_{\min} を表し、グラフの終点の横軸の座標 x_2 に対する、縦軸の座標は最大格子間隔 d_{\max} を表す。

【0061】

図1のように光ファイバー10上の一区間に形成されたFBG12に、引張力 F が加わると、光ファイバー10の中心軸 α の方向がY方向に向いている方から、X方向に向いている方へ、すなわちFBG12の開始端から終端にかけて、歪み量は連続的に変化する。よって、その格子間隔も図2（B）に示すように、連続的に変化するようなグラフが得られる。チャープグレーティングの状態における、FBG12の長さ方向の格子間隔の変化率は、 d_{\max} と d_{\min} の差で決まる。

【0062】

反射帯域幅の変化分 $\Delta\lambda$ は、最大歪み部分からのブラッグ波長を λ_{\max} 、最小歪み部分からのブラッグ波長を λ_{\min} として考えると理解しやすい。ブラッグ波長の式より、各々のブラッグ波長は、以下（12）式、（13）式で表される。

【0063】

$$\lambda_{\max} = 2 n_e \cdot (1 + \varepsilon_n) d_0 \cdots (12)$$

$$\lambda_{\min} = 2 n_e \cdot (1 - \varepsilon_n \cdot \nu) d_0 \cdots (13)$$

図2 (A) より、引張力Fの増大に比例して、歪み測定領域14 aにおける、X方向伸び歪み量 ε_n とY方向の縮み歪み量 ε_s はそれぞれ増大する。これに伴って(10)、(11)式より、図2 (B) のように d_{\max} は増大し、 d_{\min} は減少する。

【0064】

すなわち引張力Fの増加に対し、(12)、(13)式を考慮すると、 λ_{\max} 、 λ_{\min} の差、すなわち反射帯域幅の変化分 $\Delta \lambda$ も増大することがわかる。

【0065】

よって、引張力Fを横軸にとり、反射帯域幅の変化分 $\Delta \lambda$ を縦軸にとって示した特性図は、図2 (C) に示されるように、引張力Fが増大すると、それに比例して $\Delta \lambda$ も増大し、この増加分が検知される。

【0066】

ここで、引張力Fの変化に対する、反射帯域幅の変化量の大きさが、引張力に対する感度となる。すなわち感度 $\Delta \lambda / \Delta F$ は、図2 (C) のグラフの傾きで表される。この感度は、材料力学的な値であるポアソン比によって左右される。

【0067】

この第1の実施の形態において、板厚 $z = 100 \mu m$ 、幅 $W_0 = 30 mm$ 、材質がステンレススチールでポアソン比 ν が0.293の歪み測定部材14を用い、FBG12はブラッグ波長： $1.55 \mu m$ 、反射帯域幅は、半値全幅として $0.2 \mu m$ のものをを用いて、引張力Fが1～20 kgにおいて歪みを測定する例を紹介する。

【0068】

この測定例においては、この発明の第1の実施の形態における感度と従来技術における感度との比較を行った。比較対照とした従来技術は、図4に示した構成と同様のものであり、具体的には、板状引張部材44が、板厚 $= 100 \mu m$ 、幅が除々に狭くなる部分44 aの最大幅 $= 10 mm$ 、幅が除々に狭くなる部分44 aの最小幅 $= 5 mm$ 、材質がステンレススチールのものをを用い、それ以外は上記のこの発明の第1の実施の形態を用いた場合と同様の条件で測定を行っている。

【0069】

なお、歪み測定領域を構成する中央部14aの一端から対向する他端にかけての長さは、具体的には10mm以内のものを用いる（従来例について、これに対応するテーパ部分44aの長さ、についても同様の条件で行う。）。

【0070】

この結果、この発明の第1の実施の形態の構成においては、従来例の約2.5倍の感度が得られた。

【0071】

すなわち、既に説明したとおり、従来のFBG歪みセンサーでは、感度は幅が徐々に狭くなる部分、すなわちテーパ部44aの形状に左右される。このため、面積比に感度が制約されていた。

【0072】

これに対して、この発明においてはFBGを円弧状に配置することにより、縮み方向の力を加え、ポアソン比によって感度が決まる構造をもつ。このため、従来の歪みセンサーでは不可能であった、さらなる感度の向上を実現することができる。

【0073】

2. 第2の実施の形態

次に、第2の実施の形態の構成例を図7に示す。この第2の実施の形態によれば、図7(B)のように厚さ z が一定である板状体74は、図7(A)に示すように、歪み測定領域を構成する中央部74aの幅が、一端から対向する他端に向かって、（すなわち、図7に示したX方向に向かって）連続的に変化している。そして、この中央部の一端には、その幅 W_L 以上の幅 W_1 を有する第1外力作用部76aが連続して設けられている。同様に、中央部の他端にも、中央部の幅 W_S より大きい幅 W_2 を有する第2外力作用部76bが連続して設けられている。

【0074】

そして、この第2の実施の形態においては、中央部74aの幅の連続的変化は、一端における最大幅 W_L から他端における最小幅 W_S に向かって、減少変化とすることが好適である。

【0075】

以上のような第2の実施の形態の構成例においては、歪み測定部材すなわち板状体74が、中央部74aの長さ方向（すなわち図7のX方向）に引張力Fを受けたとき、中央部74aは、不均一な伸び歪みを発生する。つまり、幅が広い部分より幅が狭い部分の方が大きい伸び歪みを発生する。この結果、第2の実施の形態では、第1の実施の形態で示した、FBG12の中心軸 α の方向の向きによる歪み量に対する伸縮の効果に加えて、中央部74aによる歪み量不均一の効果加わる。

【0076】

このときチャープグレーティングの状態になったFBG12の反射フィルタとしての反射帯域を示す反射スペクトル図を図9に示す。引張力印加前の反射スペクトルは92、引張力印加後のスペクトルは96、引張力印加前の帯域幅、引張力印加後の帯域幅は、それぞれ94、98に相当する。

【0077】

この反射スペクトル図より、この第2の実施の形態における構成についても、引張力Fを加えると、FBG12がチャープグレーティングの状態になるのに伴って、帯域幅は94から98へ変化することから、FBG12の反射フィルタとしての反射帯域が広がることが分かる。よって、第1の実施の形態と同様、第2の実施の形態についても、温度変化の影響をうけることなく、引張力を測定することができる。

【0078】

またこの第2の実施の形態について、その引張力-歪み量特性図は、図8(A)に示すようになる。すなわち、この第2の実施の形態の歪みセンサーに引張力Fを加えると、FBG12は、上述したように、不均一な伸び歪みを発生する。この結果、X方向の伸び歪み量 ε_n を表すグラフ84は、第1の実施の形態における特性図、図2(A)の24のグラフと比較し、その傾きが大きくなる。

【0079】

ここで、図8(B)は図2(B)と同様、第2の実施の形態の構成に引張力Fを加えたときの、FBG12の格子間隔の変化を示す特性図である。(10)式

を参考にすれば、 ε_n の増大にともなって、 d_{\max} も増大し、図8(B)のグラフも88から86のグラフへシフトする。このとき、図2(B)と比較すると、引張力印加後の d_{\max} はより大きい値となる。

【0080】

以上の結果、この第2の実施の形態においては、図8(A)において、X方向の伸び歪み量 ε_n をより大きくし、Y方向の縮み歪み量 ε_s との差を大きくする。これに伴って、図8(B)のように、光ファイバーの長さ方向の格子間隔の変化率(d_{\max} と d_{\min} の差で決まる)を大きくできる。

【0081】

よって、(12)、(13)式を考慮すると、 λ_{\max} は第1の実施の形態と比較して大きくなるため、 λ_{\min} との差 $\Delta\lambda$ も第1の実施の形態と比較して大きくなる。

【0082】

このため、図8(C)における傾き、すなわち、第2の実施の形態による歪みセンサーの感度 $\Delta\lambda/\Delta F$ の値も、第1の実施の形態で得られる値より大きくなる。すなわち、第2の実施の形態においては、第1の実施の形態と比較して、より大きな感度を得ることができる。

【0083】

ここで、この第2の実施の形態において、板厚 $z=100\mu\text{m}$ 、幅が徐々に狭くなる部分の最大幅 $W_L=60\text{mm}$ 、幅が徐々に狭くなる部分の最小幅 $W_S=5\text{mm}$ 、材質がステンレススチールでポアソン比 ν が0.293の歪み測定部材74を用い、FBG12はブラッグ波長: $1.55\mu\text{m}$ 、反射帯域幅は、半値全幅として $0.2\mu\text{m}$ のものを用いて、引張力 F が1~20kgにおいて歪みを測定する例を紹介する。なお、この測定例においても第1の実施の形態における測定例と同様、歪み測定領域を構成する中央部74aの一端から対向する他端にかけての長さは、具体的には10mm以内のものを用いる。

【0084】

ここでは、この発明の第1の実施の形態における感度との比較を行った。この第1の実施の形態は、具体的に歪み測定部材14の各部の寸法は、板厚 $z=1$

00 μ m、幅 $W_0=30$ mmであり、材質はステンレススチールでポアソン比 ν が0.293のものである。また、そのFBG12のブラッグ波長は1.55 μ mで、反射帯域幅は、半値全幅として0.2 μ mのものを用いている。

【0085】

この結果、第2の実施の形態においては、第1の実施の形態における感度に比べて、約5倍大きい感度が得られた。

【0086】

すなわち、第2の実施の形態のFBG歪みセンサーにおいては、歪み測定部材74上の歪み測定領域を構成する中央部74aの幅が連続的に変化する構成となっている。このため、第1の実施の形態における光ファイバーの向きによる歪み量に対する伸縮の効果に加えて、この中央部74aによる歪み量不均一の効果加わる。この結果第2の実施の形態によれば、第1の実施の形態よりも更に大きな感度を得ることができる。

【0087】

尚、この発明においては、歪み測定部材は、測定する引張力Fに応じた寸法とすることができる。

【0088】

またこの発明は、あらかじめ歪み測定部材に引張力を印加させた状態の構成にしておくことで、圧縮力に応じて半値全幅が減少するため、圧縮センサーとして用いることができる。

【0089】

【発明の効果】

上述した説明からも明らかなように、この発明によれば、格子間隔が均一なFBGを円弧状に配置することにより、歪みをうけたとき、従来の伸び歪みに加えて、縮み歪みが発生する。この結果、従来の歪みセンサーは歪み測定部材の形状によって感度が左右されていたが、この発明においてはポアソン比によって感度が左右されるようになる。このため、この発明においては、従来の歪みセンサーでは不可能であった更なる感度の向上を実現することができる。

【0090】

また、この出願の第2発明のような、歪み測定部材がテーパ形状の中央部を有する構造においては、第1発明と比較して更に高い感度を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

この発明に係る歪みセンサーの第1の実施の形態の構成例を説明するための図であって、(A)はこのFBG歪みセンサーを上面から見た平面図、及び(B)はこのFBG歪みセンサーを幅方向に向かって見た側面図である。

【図2】

第1の実施の形態の歪みセンサーに引張力を加えたとき、(A)は、引張力と歪み量との関係を表す特性図、(B)は、この発明の第1の実施の形態における、FBGがチャープグレーティングの状態になったときの、歪み測定領域内の位置と格子間隔との関係を表す特性図、及び(C)は、この発明の第1の実施の形態におけるFBGの反射帯域幅変化分と引張力Fとの関係を表す特性図である。

【図3】

第1の実施の形態における歪みセンサーのFBGの反射スペクトルを表す図である。

【図4】

従来のFBGを用いた歪みセンサーを表す、(A)はこの従来例を上面から見た平面図、及び(B)はこの従来例を幅方向から見た側面図である。

【図5】

従来の歪みセンサーに引張力を加えたとき、(A)は、引張力と歪み量との関係を表す特性図、(B)は、従来例におけるFBGがチャープグレーティングの状態になったときの、歪み測定領域内の位置と格子間隔との関係を表す特性図、及び(C)は、従来例におけるFBGの反射帯域幅変化分と引張力Fとの関係を表す特性図である。

【図6】

従来の歪みセンサーのFBGの反射スペクトルを表す図である。

【図7】

この発明に係る歪みセンサーの第2の実施の形態の構成例を説明するための図

であって、(A)はこのFBG歪みセンサーを上面から見た平面図、及び(B)はこのFBG歪みセンサーを幅方向に向かって見た側面図である。

【図8】

第2の実施の形態の歪みセンサーに引張力を加えたとき、(A)は、引張力と歪み量との関係を表す特性図、(B)は、この発明の第2の実施の形態におけるFBGがチャープグレーティングの状態になったときの、歪み測定領域内の位置と格子間隔との関係を表す特性図、及び(C)は、この発明の第2の実施の形態におけるFBGの反射帯域変化分と引張力Fとの関係を表す特性図である。

【図9】

第2の実施の形態の歪みセンサーのFBGの反射スペクトルを表す図である。

【符号の説明】

- 10：光ファイバー
- 12：FBG（光ファイバーブラッグ回折格子）
- 14，74：歪み測定部材（板状体）
- 14a，74a：歪み測定領域（中央部）
- 16：外力作用部
- 22，82：幅方向（Y方向）歪み量 ε_s を表すグラフ
- 24，84：長さ方向（X方向）歪み量 ε_n を表すグラフ
- 26，56，86：引張力印加後のFBGの格子間隔を表すグラフ
- 28，58，88：引張力印加前のFBGの格子間隔を表すグラフ
- 32，62，92：引張力印加前の歪みセンサーにおけるFBGの反射スペクトル
- 34，64，94：引張力印加前の帯域幅
- 36，66，96：引張力F印加後の歪みセンサーにおけるFBGの反射スペクトル
- 38，68，98：引張力印加後の帯域幅
- 44：板状引張部材
- 44a：テーパ部分
- 52：最大歪み量 ε_{\max} を表すグラフ

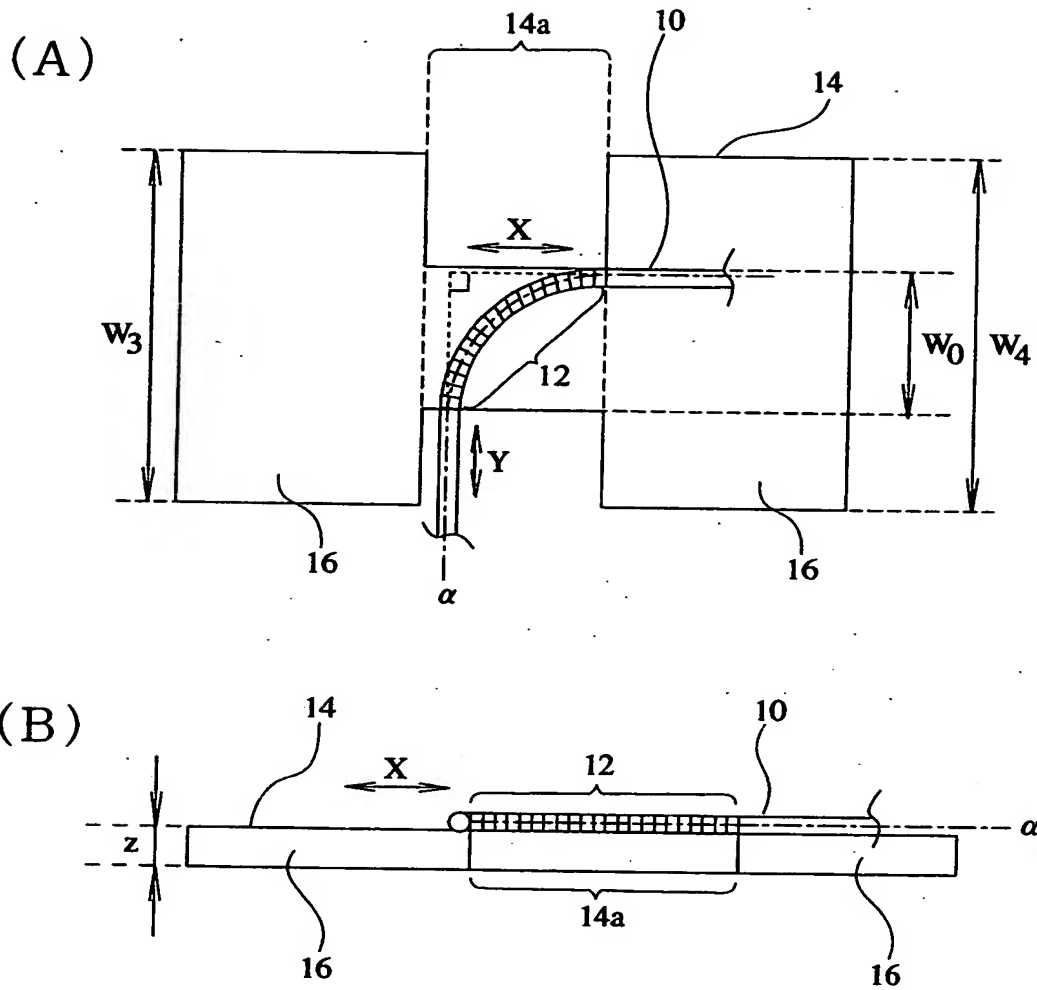
54 : 最小歪み量 ε_{\min} を表すグラフ

76a : 第1外力作用部

76b : 第2外力作用部

【書類名】 図面

【図 1】

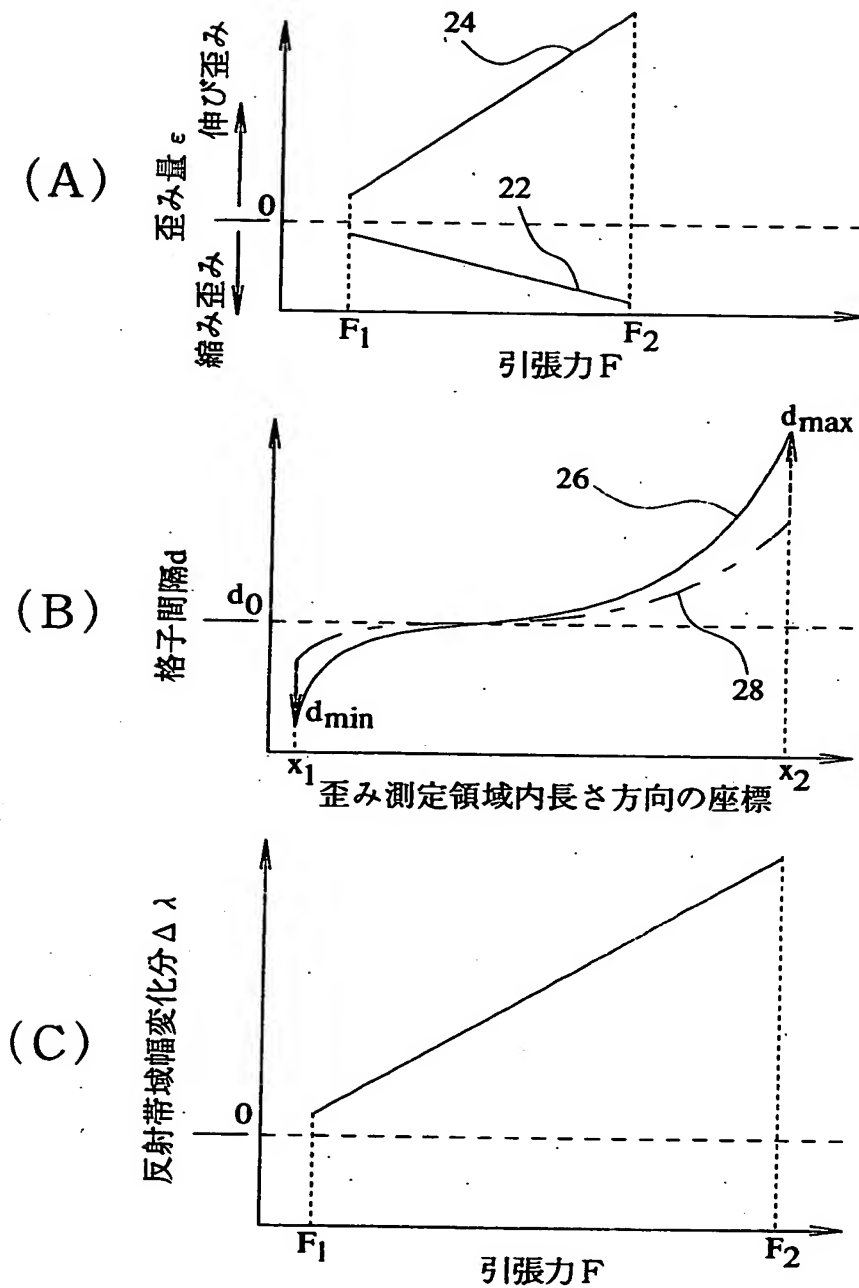


10：光ファイバー
14：歪み測定部材
16：外力作用部

12：FBG
14a：歪み測定領域（中央部）

第1の実施の形態のFBG歪みセンサー

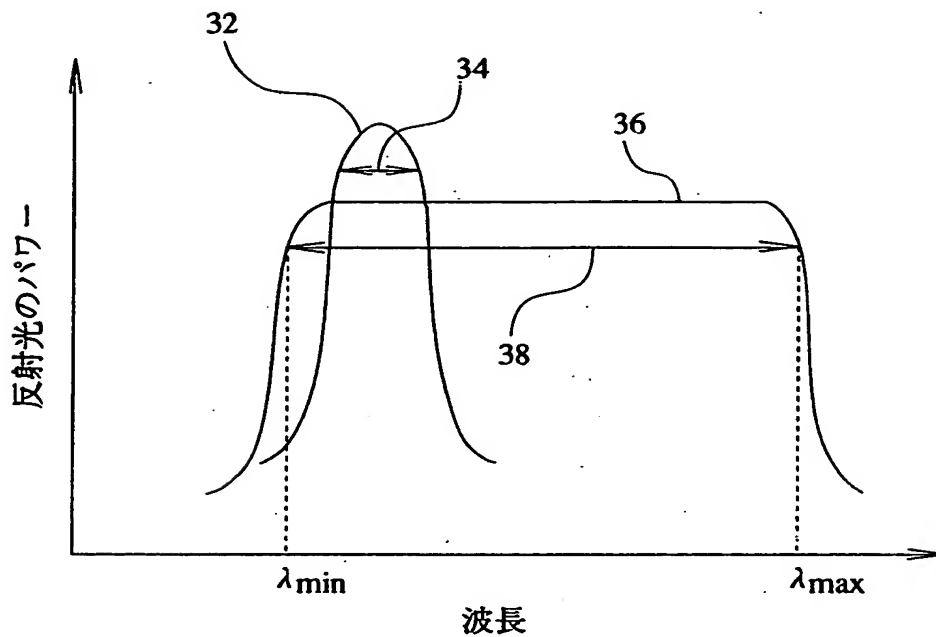
【図 2】



- 22: 幅方向 (Y 方向) 歪み量 ϵ_s を表すグラフ
 24: 長さ方向 (X 方向) 歪み量 ϵ_n を表すグラフ
 26: 引張力印加後の F B G の格子間隔を表すグラフ
 28: 引張力印加前の F B G の格子間隔を表すグラフ

第 1 の実施の形態の FBG 歪みセンサーに引張力を加えたときの各特性図

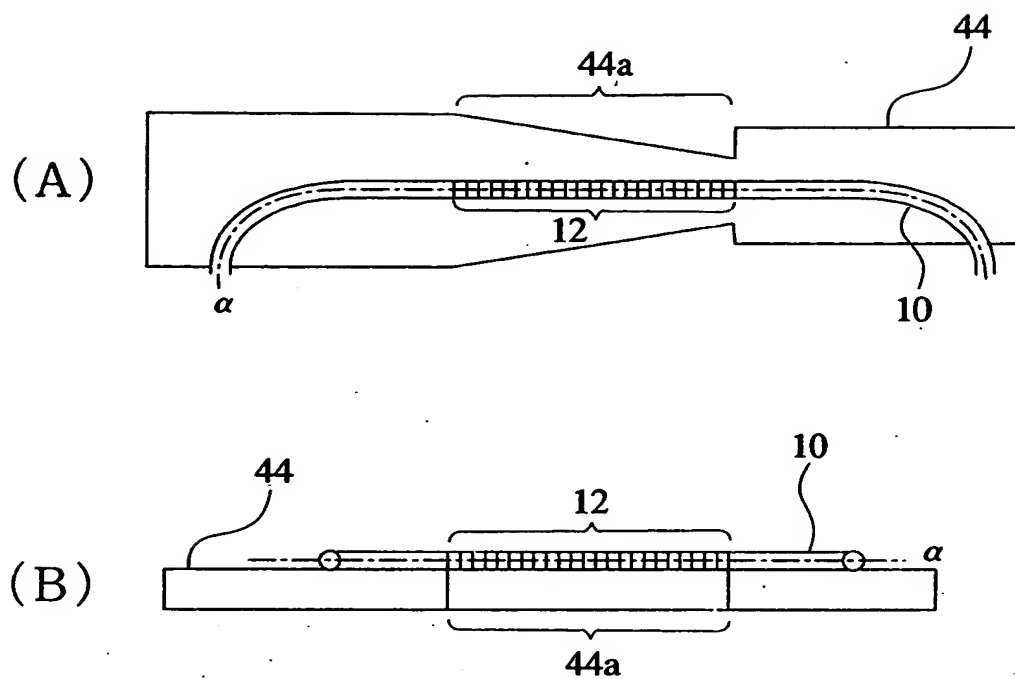
【図 3】



32：引張力印加前の反射スペクトル 34：引張力印加前の帯域幅
36：引張力印加後の反射スペクトル 38：引張力印加後の帯域幅

第 1 の実施の形態の、歪みセンサーにおける F B G の反射スペクトル図

【図4】

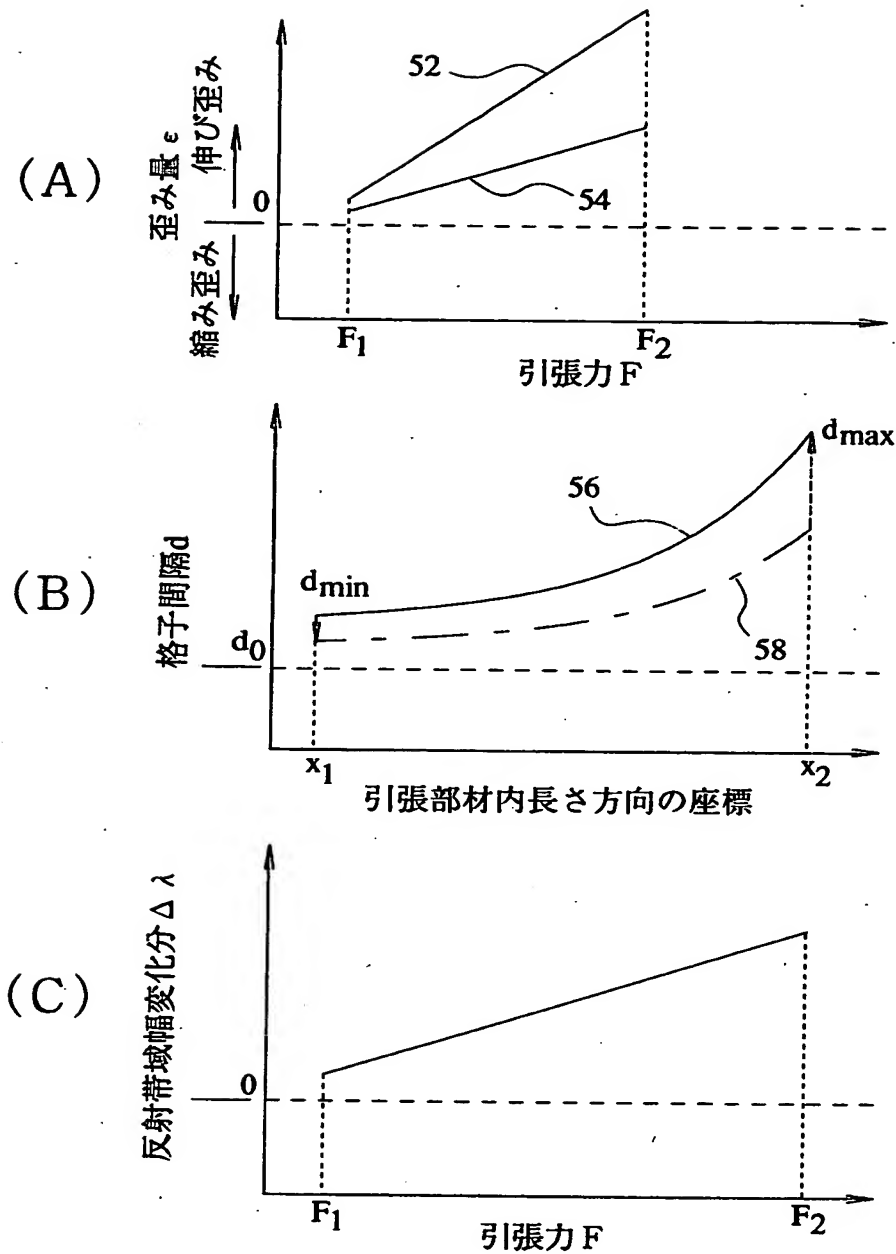


44：板状引張部材

44a：テーパ部分

従来のFBGを用いた歪みセンサー

【図5】



52：最大歪み量 ϵ_{\max} を表すグラフ

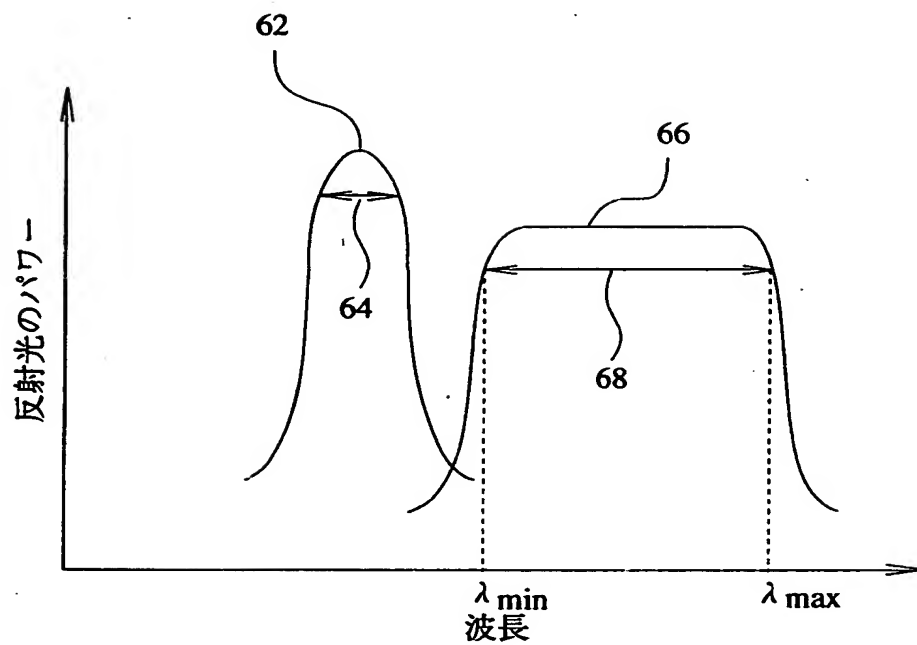
54：最小歪み量 ϵ_{\min} を表すグラフ

56：引張力印加後のF B Gの格子間隔を表すグラフ

58：引張力印加前のF B Gの格子間隔を表すグラフ

従来のF B G歪みセンサーに引張力を加えたときの各特性図

【図 6】

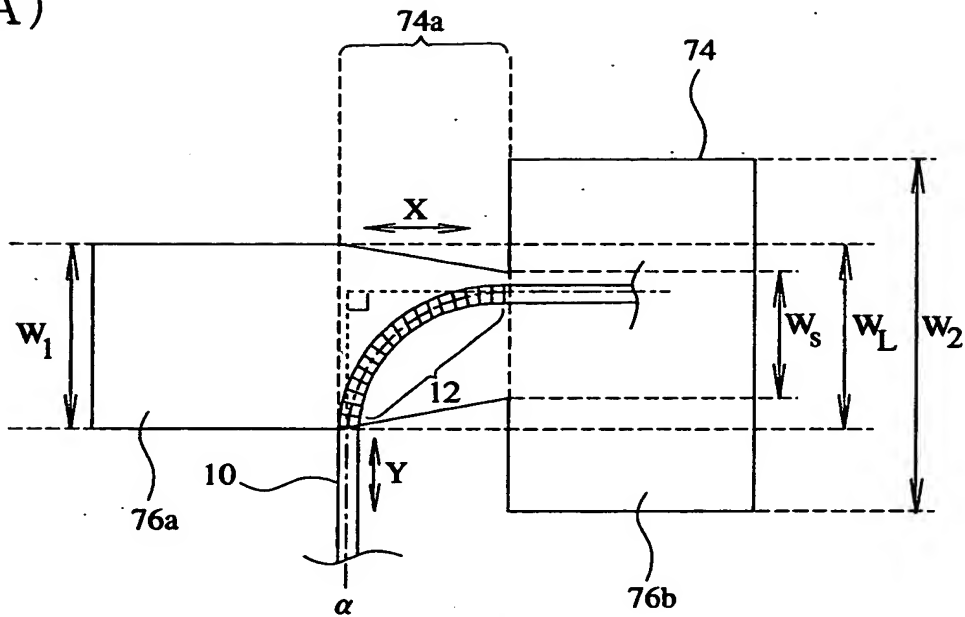


62：引張力印加前の反射スペクトル 64：引張力印加前の帯域幅
66：引張力印加後の反射スペクトル 68：引張力印加後の帯域幅

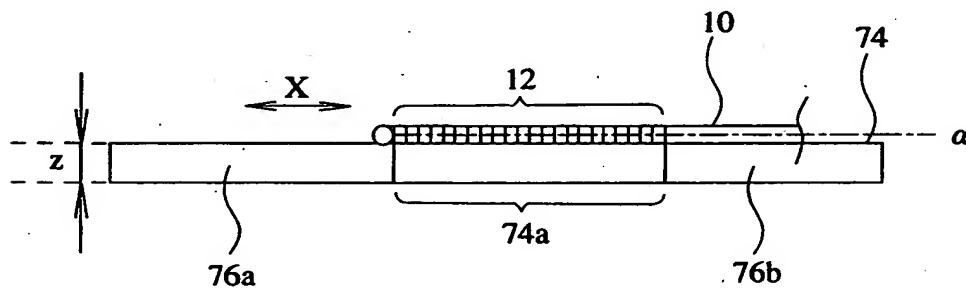
従来の歪みセンサーにおけるFBGの反射スペクトル図

【図7】

(A)



(B)

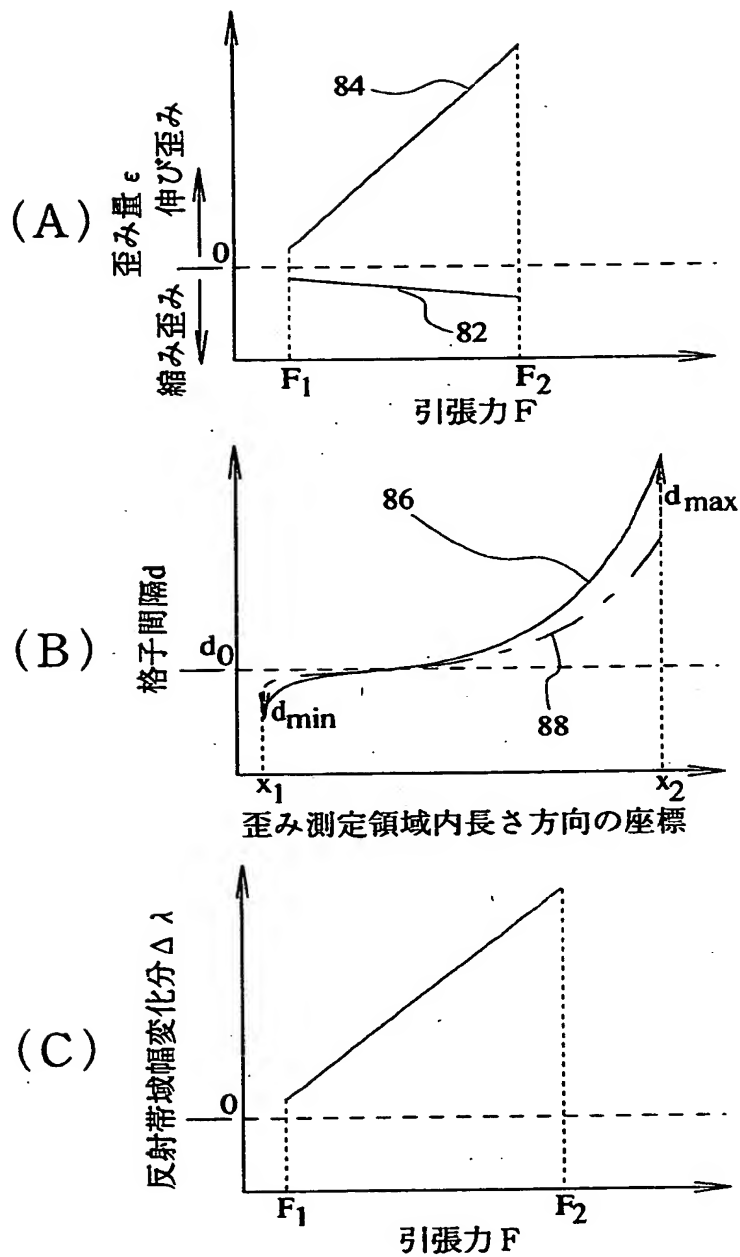


74：歪み測定部材
76a：第1外力作用部

74a：歪み測定領域（中央部）
76b：第2外力作用部

第2の実施の形態のFBG歪みセンサー

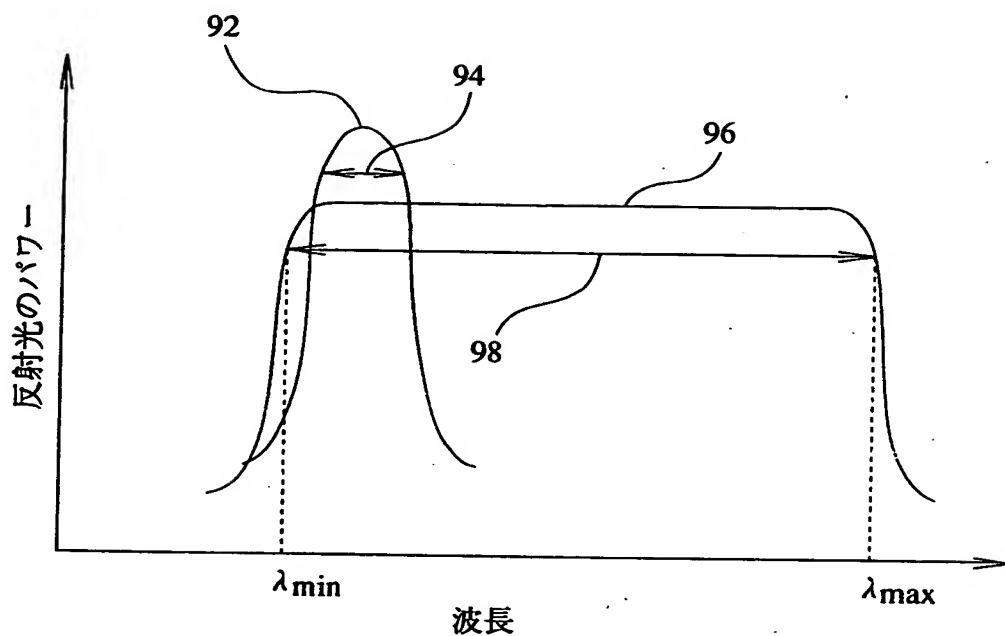
【図 8】



- 82: 幅方向 (Y方向) 歪み量 ϵ_s を表すグラフ
- 84: 長さ方向 (X方向) 歪み量 ϵ_n を表すグラフ
- 86: 引張力印加後の F B G の格子間隔を表すグラフ
- 88: 引張力印加前の F B G の格子間隔を表すグラフ

第 2 の実施の形態の FBG 歪みセンサーに引張力を加えたときの各特性図

【図9】



92：引張力印加前の反射スペクトル 94：引張力印加前の帯域幅
96：引張力印加後の反射スペクトル 98：引張力印加後の帯域幅

第2の実施の形態の、歪みセンサーにおけるFBGの反射スペクトル図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 FBG（光ファイバブラッグ回折格子）として格子間隔の均一なものを用いて、引張力、圧縮力を高感度で測定する。

【解決手段】 歪み測定領域 14 a を有する歪み測定部材 14 と、歪み測定領域上に固定された光ファイバー 10 と、光ファイバーの中心軸 α の方向の一区内に形成された格子間隔の均一な FBG 12 とを具える。この FBG は、その形成区間の一端及び他端、すなわち FBG の開始端及び終端における中心軸の方向が互いに直交する方向を向くように歪み測定領域内に配置されており、この区内は、 $1/4$ の円弧状に配置して固定されている。引張力が加わると、FBG の格子間隔が不均一になり、反射波の帯域幅が広がるので、帯域幅の変化で引張力を測定できる。

【選択図】 図 1

特2001-050134

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-050134
受付番号	50100264141
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成13年 2月27日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成13年 2月26日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000000295]

1. 変更年月日

1990年 8月22日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

氏 名

沖電気工業株式会社